

成 果 報 告 書

「リング型光源とレーザーを用いた光発生とその応用」

平成23年5月

大学共同利用機関法人自然科学研究機構

様式第20

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究委託事業による委託業務として、大学共同利用機関法人自然科学研究機構が実施した平成22年度「リング型光源とレーザーを用いた光発生とその応用」の成果を取りまとめたものです。

1. 委託業務の目的

レーザーとリング型加速器を用いてテラヘルツ領域及び真空紫外・軟X線領域の極短パルス光、大強度コヒーレント光を生成する技術を確立し、これら従来のシンクロトロン光にない特質をもった光の利用技術を開拓することを目的とする。

このため、大学共同利用機関法人自然科学研究機構分子科学研究所及び国立大学法人名古屋大学、国立大学法人京都大学と共同で業務を行う。大学共同利用機関法人自然科学研究機構分子科学研究所では、光源装置及び光利用装置に関わる研究開発を実施する。

2. 平成22年度（報告年度）の実施内容

2. 1 実施計画

① 加速器装置の立ち上げ調整

レーザーと電子ビームを用いて極短パルス光・コヒーレント光を発生する先進光源装置を分子科学研究所のリング型光源 UVSOR-II 上に構築するために製作した加速器装置の立ち上げ調整を進める。

② レーザー装置の立ち上げ調整

先進光源装置の中核となるレーザー装置の立ち上げ調整を進める。大強度レーザーの特性制御法、輸送法の開発を進める。また、極短パルス光・コヒーレント光発生 of 予備実験を進める。

③ アンジュレータ装置の設計・製作

先進光源装置の中核となるアンジュレータ装置の設計を行い、また、製作を進める。様々な偏光のコヒーレント光・極短パルス光を発生するためのラディエータと電子ビームの密度変調の形成を促すバンチャーの設計・製作を進める。

④ ビームライン装置の設計・製作

先進光源の発生する極短パルス光、コヒーレント光を取り出すためのビームライン装置の設計・製作を進める。また、極短パルス光・コヒーレント光利用の予備実験を進める。

⑤ プロジェクトの総合的推進

プロジェクト全体の連携を密としつつ円滑に運営していくため、技術検討会の開催などを通じて参画機関の連携・調整にあたる。

特に、プロジェクト全体の進捗状況を確認しつつ計画の合理化を検討し、必要に応じて調査を行い、プロジェクトの推進に資する。

プロジェクトで得た成果については、積極的に公表し、今後の展開に資する。

2. 2 実施内容（成果）

① 加速器装置の立ち上げ調整

レーザーと電子ビームを用いて極短パルス光・コヒーレント光を発生する先進光源装置を分子科学研究所のリング型光源 UVSOR-II 上に構築するために製作した加速器装置の立ち上げ調整を進めた。まず、先進光源装置設置場所確保のために構築した新ビーム入射路での入射条件を確立した。新規に製作した偏向磁石 3 台及び励磁電源は所定の性能で安定に動作し、ステアリング磁石等の微調整で入射路終端部までビームを輸送することに成功した。新しい入射点での入射条件は、キッカー磁石の調整を慎重に進めた結果、旧入射点での入射とほぼ同等の入射効率を実現することができた。

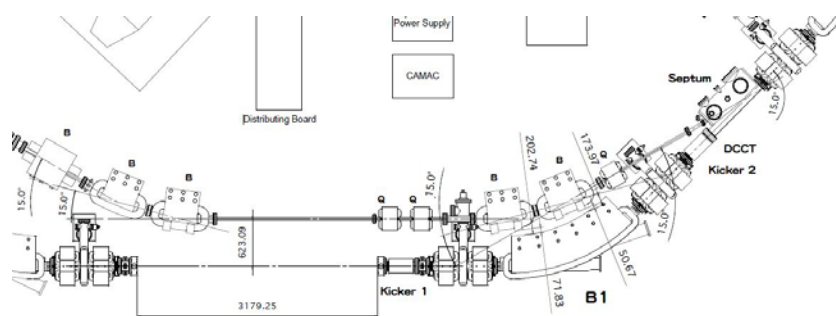


図 1. UVSOR 電子蓄積リング新入射路（上側が入射路の終端部、下側がリングの一部）。

② レーザー装置の立ち上げ調整

先進光源装置の中核となるレーザー装置の立ち上げ調整を進めた。繰り返し 1kHz で約 10mJ/pulse の目標性能を実現することができた。また、最大 50mJ/pulse の大強度レーザーの特性制御法の開発を進め、テラヘルツ光発生用大強度振幅変調パルスの生成に成功した。また、大強度レーザーの輸送法に関して、名古屋大学と協力し光学部品へのダメージや光学路の最適化に関する研究開発を進めた。また、大強度レーザーパルスによる極短パルス光・コヒーレント光発生の予備実験を進め、コヒーレント光の飽和に関する知見を得た。

以上の開発は、簡易型のレーザー暗室内で実施したが、レーザーの安定性をより高めるために H22 年度末までに室温の安定性を高めた新しいレーザーハッチを建設し（図 2）、レーザーの移設を行った（図 3、図 4）。新ハッチ内でレーザー装置の試運転を行い、所定の性能が満足されていることを確認できた。今後、長期運転により安定性の改善を確認する。

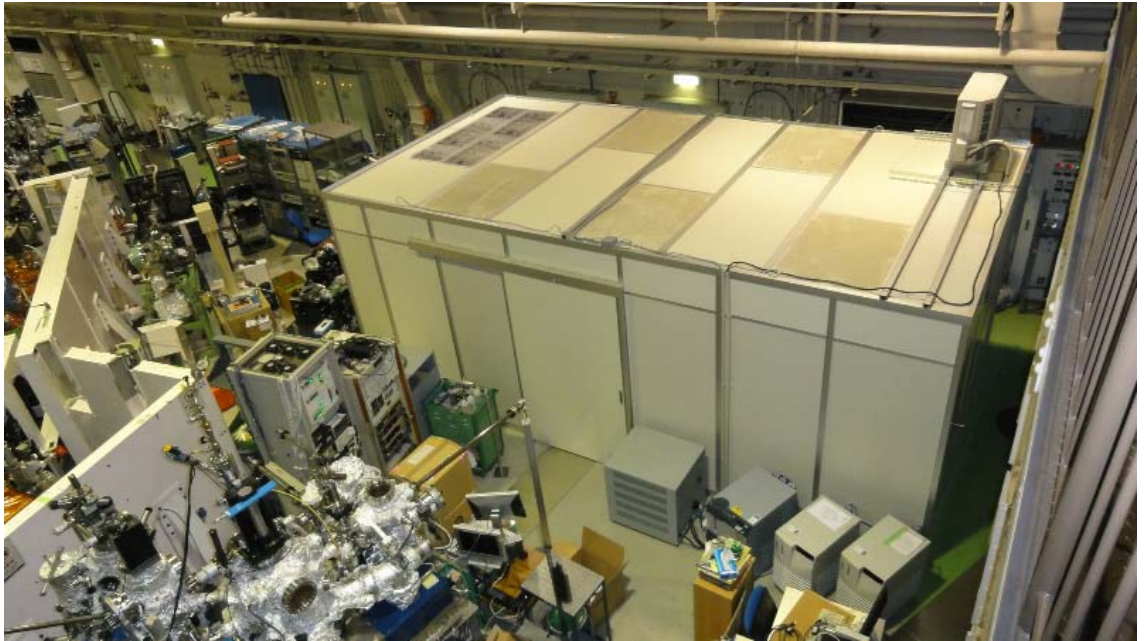


図 2. 新レーザーハッチ外観図



図 3. 新レーザーハッチ内部のレーザー装置の配置

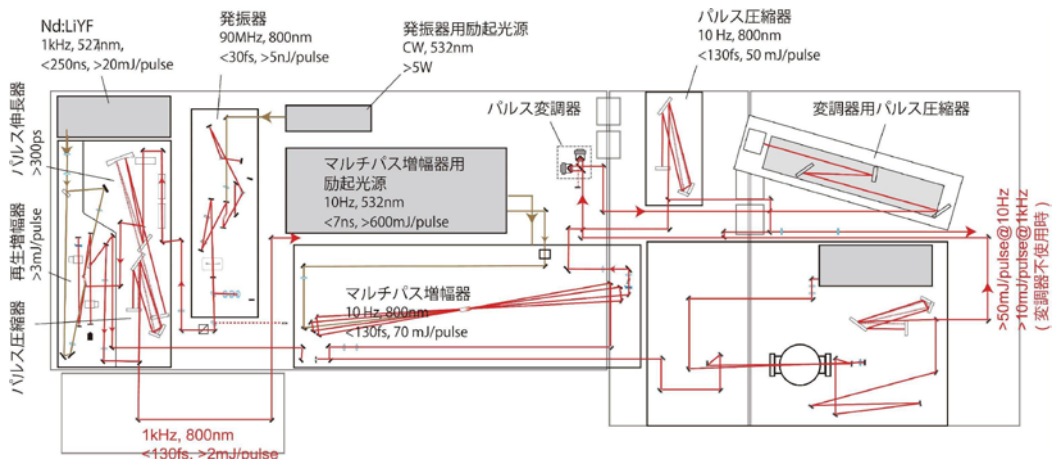


図 4. レーザー構成図

③ アンジュレータ装置の設計・製作

先進光源装置の中核となるアンジュレータ装置の設計を行った。検討の結果、モジュレータ部とラディエータ部を同一周期の APPLE-II 型アンジュレータとすることとし、製作を進めた。また、電子ビームの密度変調の形成を促すバンチャーの設計・製作を進めた。

モジュレータ部はテラヘルツ光発生実験に使用するモジュレータ部をリングに設置し、加速器に対し 100 ミクロンの精度で据え付けを行った（図 5）。高調波光発生に必要となるラディエータ部及びバンチャー部の据え付けは共同利用運転スケジュールに合わせて 2011 年 9 月に実施する。なお、モジュレータ部、ラディエータ部について磁場計測を実施した結果、所定の磁場性能を満足していることが確認できた（図 6）。

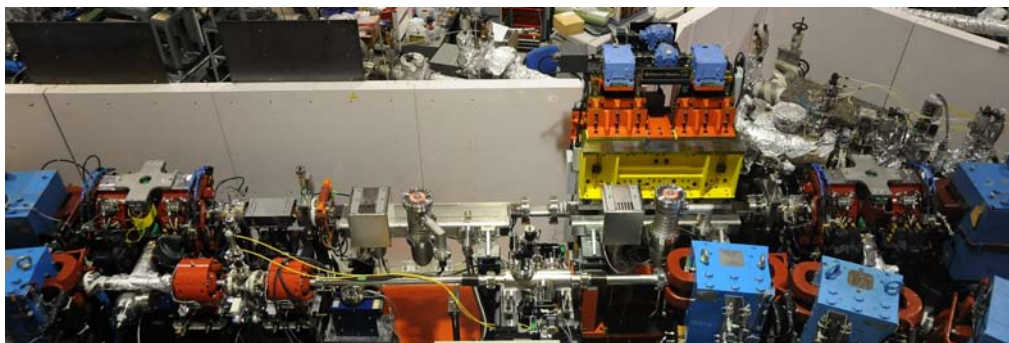


図 5. 本研究プログラム用に創出された新直線部に設置されたモジュレータ部 (APPLE-II 型アンジュレータ)。左隣のスペースにラディエータ部とバンチャー部を設置する。

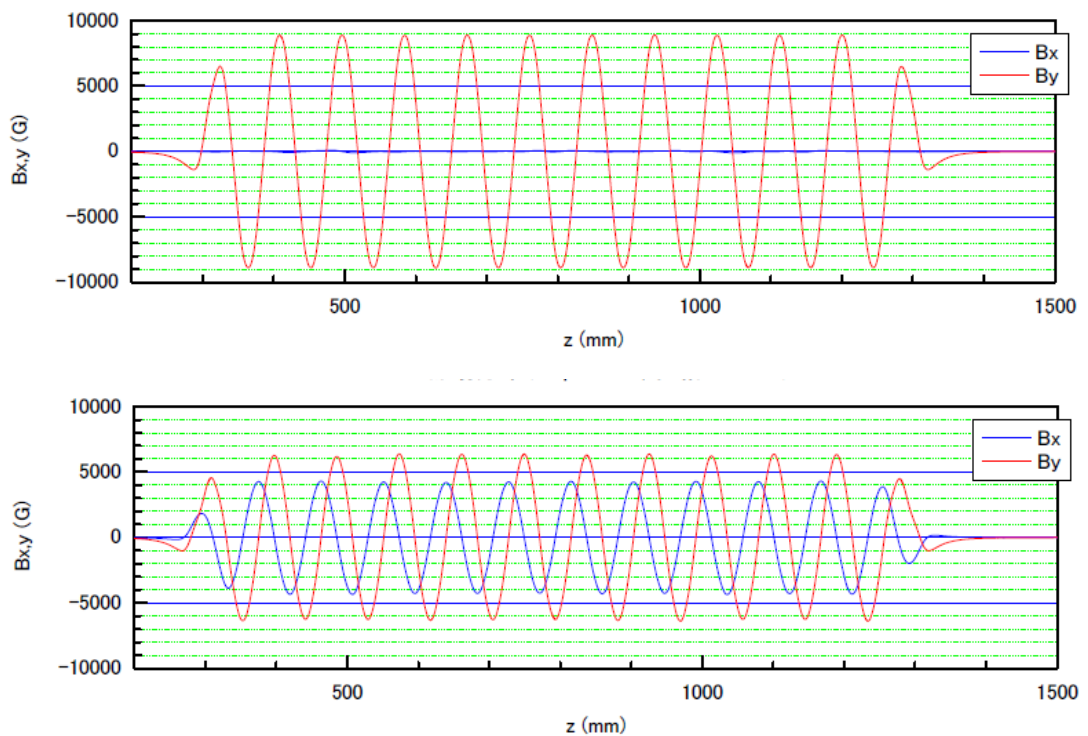


図 6. モジュール磁場測定結果（上；直線偏光モード、下；楕円偏光モード）
ラジエータも同一の APPLE-II 型アンジュレータであり、磁場分布はモジュール
ータと同じ結果であった。

④ ビームライン装置の設計・製作

先進光源の発生する極短パルス光、コヒーレント光を取り出すためのビームライン装置の設計・製作を進めた。テラヘルツ光取り出し用マジックミラー及び専用真空チャンバーの設計・製作を進めた。偏向磁石真空ダクトにミラー層を直結する特殊形状ダクトを製作し、マジックミラー駆動部・マジックミラー本体を取り付け加速器に実装した（図 7、図 8）。

コヒーレントテラヘルツ光利用の予備実験を進めた。E0 サンプリングによるテラヘルツ電場計測を試みこれに成功した。大強度のコヒーレント電磁場が形成され、それが取り出されていることを直接観測することに成功した（図 9）。また、京都大学などと協力し、テラヘルツ近接場光学系に関する予備実験を進めた。



図 7. テラヘルツ集光ミラー設置のための特殊形状偏向ダクト

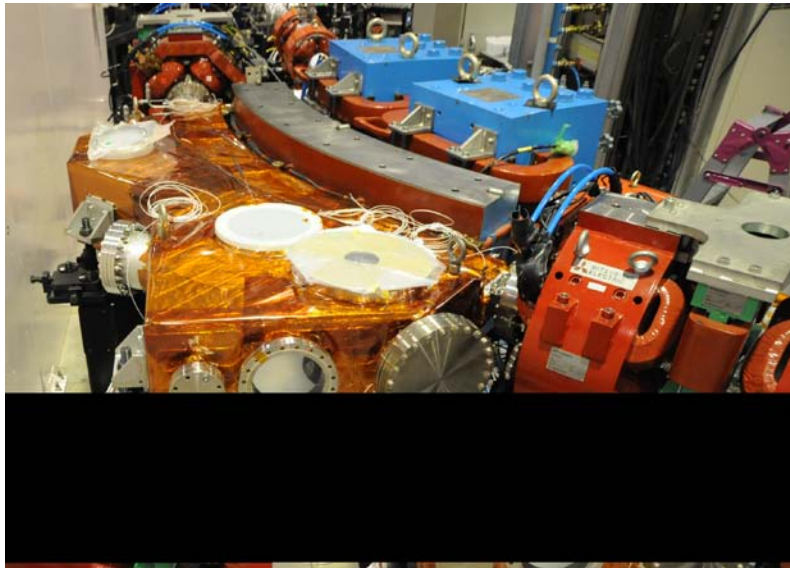


図 8. テラヘルツ集光ミラー設置のための特殊形状偏向ダクト（偏向磁石取り付け後）

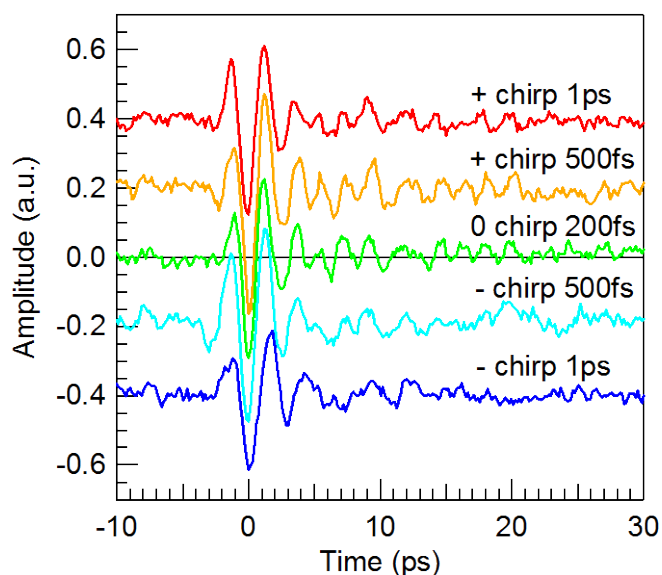


図9. E0 サンプリング法によるテラヘルツ波電場計測結果

⑤ プロジェクトの総合的推進

プロジェクト全体の連携を密としつつ円滑に運営していくため、技術検討会の開催などを通じて参画機関の連携・調整にあたった。毎週1回、分子研において技術検討会兼勉強会を開催し、主に分子研及び名古屋大学の研究者・学生が参加、成果報告や討論を行った。1月13, 14日には、分子研研究会「大強度テラヘルツ光発生と利用研究」を開催し、本プロジェクトの成果を発表するとともに当該分野における情報収集を行った。

2. 3 成果の外部への発表

研究成果については、国際会議、国内学会などにおいて18件の発表を行い、5件が口頭発表であったが、そのうち2件は国際会議における招待講演である。論文は3報が国際的学術雑誌に、また、2報が国内学会誌に掲載された。

詳細は別添様式第21の通り

2. 4 活動（運営委員会等の活動等）

分子研研究会「大強度テラヘルツ光発生と利用研究」

（平成23年1月13, 14日、分子科学研究所）

技術検討会兼勉強会（毎週火曜日、分子科学研究所）

2. 5 実施体制

別表 1 参照

別表 1 平成 22 年度に於ける実施体制

研究項目	担当機関等	研究担当者
1. 加速器装置の立ち上げ調整	自然科学研究機構分子科学研究所	◎○加藤 政博 山崎 潤一郎 林 憲志
2. レーザー装置の立ち上げ調整	自然科学研究機構分子科学研究所	○阿達 正浩 ◎加藤 政博 谷川 貴紀
3. アンジュレータ装置の設計・製作	自然科学研究機構分子科学研究所	◎○加藤 政博 谷川 貴紀 山崎 潤一郎
4. ビームライン装置の設計・製作	自然科学研究機構分子科学研究所	○木村 真一 森 龍也 繁政 英治 堀米 利夫 蓮本 正美 中村 永研 酒井 雅弘 近藤 直範
5. プロジェクトの総合的推進	自然科学研究機構分子科学研究所	◎○加藤 政博

注 1. ◎：課題代表者、○：サブテーマ代表者

注 2. 本業務に携わっている方は、全て記入。

様式第 2 1

学 会 等 発 表 実 績

委託業務題目： 「リング型光源とレーザーを用いた光発生とその応用」

機 関

自然科学研究機構

名：

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
Radiation from Laser-modulated and Laser-sliced Electron Bunches in UVSOR-II、口頭（招待講演）	加藤政博	32nd International Free Electron Laser Conference	2010年8月24日	国外
Observation of Transverse-Longitudinal Coupling effect at UVSOR-II、口頭	M. Shimada, M. Katoh, M. Adachi, T. Tanikawa, S. Kimura, H. Hosaka, N. Yamamoto, Y. Takashima, T. Takahashi	1st International Particle Accelerator Conference (iPAC' 10)	2010年5月24日	国内
Light Source Development in UVSOR、口頭（招待講演）	加藤政博	The 15th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation	2011年3月4日	国内
Numerical on Coherent Harmonic Generation Free Electron Laser seeded by Chirped External laser、ポスター	H. Zen, M. Adachi, M. Katoh, M. Hosaka, Y. Taira, N. Yamamoto, T. Tanikawa	32nd International Free Electron Laser Conference	2010年8月24日	国外

Saturation Phenomena of VUV Coherent Harmonic Generation at UVSOR-II、ポスター	T. Tanikawa, M. Adachi, M. Katoh, J. Yamazaki, H. Zen, M. Hosaka, Y. Taira, N. Yamamoto	32nd International Free Electron Laser Conference	2010年8月24日	国外
Terahertz Coherent Synchrotron Radiation Induced by Laser; Saturation Effects、ポスター	S. Bielawski, C. Szwaj, M. Adachi, M. Katoh, S. Kimura, T. Tanikawa, H. Zen, T. Hara, M. Hosaka, Y. Takashima, N. Yamamoto, M. Le Parquier, A. Mochihashi, M. Shimada, T. Takahashi	32nd International Free Electron Laser Conference	2010年8月24日	国外
THz Field Detection of the Coherent Synchrotron Radiation Produced by Laser Bunch Slicing、口頭	I. Katayama, H. Shimosato, M. Bito, K. Furusawa, M. Adachi, M. Shimada, H. Zen, S. Kimura, N. Yamamoto, M. Hosaka, M. Katoh, M. Ashida	Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2010)	2010年5月16日	国外
Observation of Transverse-Longitudinal Coupling effect at UVSOR-II、口頭	M. Shimada, M. Katoh, M. Adachi, T. Tanikawa, S. Kimura, H. Hosaka, N. Yamamoto, Y. Takashima, T. Takahashi	1st International Particle Accelerator Conference (IPAC' 10)	2010年5月24日	国内
Study of the Coherent Terahertz Radiation by Laser Bunch Slicing at UVSOR-II Electron Storage Ring、ポスター	N. Yamamoto, M. Shimada, M. Adachi, H. Zen, T. Tanikawa, Y. Taira, S. Kimura, M. Hosaka, Y. Takashima, T. Takahashi, M. Katoh	1st International Particle Accelerator Conference (IPAC' 10)	2010年5月24日	国内

Present Status and Upgrade Plan of Coherent Light Source Developments at UVSOR-II、ポスター	M. Adachi, M. Katoh, H. Zen, Y. Taira, J. Yamazaki, K. Hayashi, S. Kimura, T. Tanikawa, M. Hosaka, N. Yamamoto, Y. Takashima, T. Takahashi	1st International Particle Accelerator Conference (iPAC' 10)	2010年5月24日	国内
Spectral Measurement of VUV CHG at UVSOR-II、ポスター	T. Tanikawa, M. Adachi, M. Katoh, J. Yamazaki, H. Zen, M. Hosaka, Y. Taira, N. Yamamoto	1st International Particle Accelerator Conference (iPAC' 10)	2010年5月24日	国内
数値計算による CHG-FEL の研究、ポスター	全炳俊、阿達正浩、加藤政博、谷川貴紀、平義隆、山本尚人、保坂将人	第7回日本加速器学会年会	2010年8月5日	国内
UVSOR-II におけるコヒーレント光源開発の現状と展望、ポスター	阿達正浩、加藤政博、全炳俊、谷川貴紀、林憲志、山崎潤一郎、木村真一、平義隆、保坂将人、山本尚人、島田美帆、高橋俊晴	第7回日本加速器学会年会	2010年8月5日	国内
UVSOR-II における真空紫外コヒーレント高調波の飽和現象、ポスター	谷川貴紀、阿達正浩、全炳俊、保坂将人、山本尚人、平義隆、加藤政博	第7回日本加速器学会年会	2010年8月5日	国内
UVSOR-II におけるコヒーレント光源開発の現状、ポスター	阿達正浩、加藤政博、全炳俊、山崎潤一郎、林憲志、谷川貴紀、平義隆、保坂将人、山本尚人、高橋圭史	第24回日本放射光学会年会	2011年1月9日	国内

UVSOR-II における飽和領域でのコヒーレント高調波の観測、ポスター	谷川貴紀、阿達正浩、全炳俊、保坂将人、山本尚人、平義隆、山崎潤一郎、加藤政博	第 24 回日本放射光学会年会	2011 年 1 月 9 日	国内
CHG-FEL 用数値計算コードの開発、ポスター	全炳俊、谷川貴紀、保坂将人、山本尚人、平義隆、阿達正浩、加藤政博	第 24 回日本放射光学会年会	2011 年 1 月 9 日	国内
電子蓄積リングにおけるガス高次高調波を用いたコヒーレント高調波発生の研究、ポスター	和佐直毅、谷川貴紀、植松遥平、保坂将人、山本尚人、高嶋圭史、阿達正浩、全炳俊、加藤政博	第 24 回日本放射光学会年会	2011 年 1 月 9 日	国内

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
Laser-induced narrowband coherent synchrotron radiation: Efficiency versus frequency and laser power	C. Evain, C. Sz waj, S. Bielawski, M. Hosaka, Y. Takashima, M. Shimada, S. Kimura, M. Katoh, A. Mochi hashi, T. Takahashi, T. Hara	Physical Review Special Topics - Accelerators and Beams 13 (2010) 090703	2010 年 9 月 27 日	国外
Observation of saturation Effect on Vacuum Ultraviolet Coherent Harmonic Generation at UVSOR-II	T. Tanikawa, M. Adachi, H. Zen, M. Hosaka, N. Yamamoto, Y. Taira, M. Katoh	Applied Physics Express 3 (2010)	2010 年 12 月 10 日	国外

Design of Terahertz Pump - Photoemission Probe Spectroscopy Beamline at UVSOR-II	S. Kimura, E. Nakamura, M. Hosaka, T. Takahashi, M. Katoh	AIP Conference Proceedings 1234, 63-65 (2010).	2010年5月	国外
放射光を利用したテラヘルツ光源	加藤政博	Journal of Vacuum Society of Japan 53, 393-398 (2010).	2010年6月	国内
テラヘルツシンクロトロン放射光；光 学系と利用研究	木村真一	Journal of Vacuum Society of Japan 53, 399-405 (2010).	2010年6月	国内